

## 明 細 書

### 走査型電子顕微鏡

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、走査型電子顕微鏡SEM(Scanning Electron Microscope)や収束イオンビーム加工観察装置(Focused Ion Beam)のような、荷電粒子線をプローブとした装置において絶縁物試料を観察する際に問題となる帯電の制御技術に関するものである。とりわけ該荷電粒子線装置を用いて、レジスト(マスカ)や石英ウェーハなど、荷電粒子線の照射によって電荷が蓄積しやすいガラス基板試料上に構成されたパターンを安定して測長する技術に関するものである。

#### 背景技術

- [0002] 荷電粒子線による絶縁物からなる試料のSEM観察については、問題となる帯電の除去や中和を主眼としており、例えば、絶縁物試料上に導電性膜を蒸着などの手段で作成して絶縁物試料を導電化する技術(特許文献1)や、像を形成するために試料に照射する一次荷電粒子線とは別個に電子や正負イオンビームなどの照射手段を設け、絶縁物試料上の帯電を中和する技術(特許文献2および3)や、試料室内もしくは試料室外にプラズマを照射する手段を設けて帯電を中和する技術(特許文献4)、試料室内を低真空にする手段(特許文献5、6および7)、または局所的にガスを導入する手段(特許文献8)を有して一次荷電粒子線で気体分子をイオン化して帯電を中和する技術、さらに帯電領域に紫外線などの波長の短い光を照射して絶縁物試料を導電化する技術(特許文献9および10)が開示されているが、いずれもその場観察ができない、スループットが低い、装置制御が複雑、低分解能、メンテナンスが困難で短周期、レジストなどの感光性材料は不適などの短所を持ち合わせている。
- [0003] 一方、本発明の構成に類似する技術としてSEMにおける絶縁膜試料の欠陥検査方法が特許文献11に開示されており、電極を試料に対向して配置して適当な電圧を与えることにより、該試料から発生したエネルギーの低い二次電子を該試料に帰還させることで帯電を一定電位に安定化させるものである。よって、電極の作用で二次電子を用いて帯電を緩和することは公知となっているが、デバイスサイズが大きい時

代の発明であり、問題としている電子線照射領域も本発明に比して大きく、あくまで絶縁膜上の正帯電の経時的な増加を大まかに食い止める効果であって、その後EBテスターと呼ばれる回路検査装置の電位コントラスト制御にも使用される技術である。本発明のように高倍率で高精度の測長を行うときに問題となる局所的な帯電電荷の移動や絶縁物試料上での電位勾配が原因となる速度が数nm/sのビームドリフトや電位障壁の意図的な制御に注目したダイナミックな電極電圧の制御とほ目的と効果の点で相違する。

[0004] また、特許文献1<sub>2</sub> および特許文献1<sub>3</sub> では絶縁物試料の観察方法について開示されている。試料もしくは試料台を一次電子線に対して減速電位としてレンズ界内を高いエネルギーで電子線を通過させるs EMの高分解能化手法であるリターディング法を用いた装置において、該試料の上方にまたは該試料を覆うように電極を配置してリターディング電圧と同電圧を印加することで、該試料を無電界内に置き、該絶縁物試料表面を任意電位に制御する手法や二次電子の収量改善を目的として補助的な電極を追加する手法が述べられているが、帯電の制御やビームドリフトの低減は目的とされておらず、そのような効果も期待できない点で本発明と相違する。

[0005] さらに特許文献1<sub>4</sub> ではリターディング法を用いたs EMにおいて対物レンズ極片と該対物レンズ極片より上方に中間電極を配置する構成が開示されている。該中間電極は試料から発生した二次電子を該試料上に回帰させるために、該対物レンズ極片に対して負のバイアスを印加して該試料の帯電を中和する技術である。ただし、本構成自体は上述した特許文献1<sub>3</sub> にて開示されている。また、原理、現象は特許文献1<sub>1</sub> で開示されている。よって、従来技術の構成では試料台の効果は欠如しているため、試料表面上の電位勾配を均一化することは不可能であり、かつ本構成と開示されている内容では絶縁物試料上の帯電の安定化やビームドリフトが問題となる高倍率での検査や測長は困難であり、これらの問題に具体的な解決手段は開示されていない。

[0006] 特許文献<sub>1</sub> 特開平8-68772  
 特許文献<sub>2</sub> : 特開平8-222176  
 特許文献<sub>3</sub> : 特開平10-172493

特許文献4:特開2 002-131887

特許文献5:特開平9-3 04 04 0

特許文献6:特開平5-174 768

特許文献7:特開2 002-2 0377 4

特許文献8:US65558 15R 2

特許文献9:特開2 000-36273

特許文献10:特開平10-312765

特許文献11:特許213 0001

特許文献12:特開平09-171791

特許文献13:特開2 001-0267 19

特許文献14:特開2 002-25 07 07

非特許文献1:A DATABASE OF ELECTRON-SOLID INTERACTIONS David C Joy  
EM Facility University of Tennessee and Oak Ridge National Lab at ORNL

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 本発明の目的は、荷電粒子線を用いて部分的に絶縁物が表面に露出した試料や絶縁物を基板とする試料上の構造を高分解能で精度良く、かつ再現性良く測長することであり、この目的のためには次の課題を克服する必要がある。
- [0008] まず、第一に絶縁物試料を荷電粒子線にて観察する際に発生する帯電によって、試料表面電位が荷電粒子線照射領域面内で不均一となることで生じる電位勾配により該荷電粒子線の軌道が偏向される、いわゆるビームドリフトの低減である。
- [0009] また、物理現象として知られているように、試料上に発生した帯電は、これが正の極性を帯びている場合には、帯電箇所直上に該帯電箇所から発生する二次電子のエネルギーに対して障壁となる電位が形成されるため、該帯電箇所から出射したエネルギーの低い二次電子は試料上に戻り、帯電量が低下する自己緩和作用がある。測長場所や測長すべき試料が変わっても帯電量が初期の帯電量に対して十分に低減できれば、測長精度の誤差は実用上問題ないレベルに低減できる。また、帯電を消滅させてしまうと、電位コントラストによって材質や構造の違いを明確にすることが

できなくなるため、帯電量の制御も重要である。しかし、該二次電子は帯電領域に均一に戻ることはまれであり、自己緩和作用も適切な条件下になれば、帯電量は長時間経過しても帯電量は大きいままであり、試料表面電位は不均一なままである。

[0010] よって、第二の課題は、帯電の自己緩和作用を効果的に行うことのできる手段と条件を提供することにある。

[0011] さらに第三の課題としては第一および第二の課題を克服した上で高分解能な像観察が可能である装置を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0012] 試料に照射する荷電粒子線のエネルギーを試料から発生する二次電子の発生効率が1以上となるように設定する。装置の構成としては、独立に電圧を印加することができ、一次荷電粒子線が通過することができる孔を具備した平板電極を試料に対向して配置し、試料を積載する試料台は独立に電圧を印加することができ、試料に対向する面は平坦化されて凹凸の無い構造とする。また、該平板電極に設けられた孔の直径Dと該平板電極と該試料との距離Lは $D/L \pm 1.5$ の関係も満たすように設定する。さらに該平板電極には、誘起された帯電が過剰に蓄積しないように、かつ二次電子の検出を行うために、試料の表面電位に対して数Vから数十Vの正の電圧を印加する。さらに、測長する前段階として一次荷電粒子線を照射しながら、該平板電極に印加する電圧を、あらかじめ決められている初値から数Vから数十Vの負の電圧に変化させた後に測長する。

#### 発明の効果

[0013] 本発明の装置構成によれば、絶縁物試料表面の電位勾配を無くし、絶縁物試料に荷電粒子線を照射したときに発生する帯電の緩和と安定化を高速に行うことができ、測長を行う高倍率でもS/Nおよびコントラストが安定し、ビームドリフトも無くすることができる。その結果、高分解能で精度、再現性良く絶縁物試料の測長を行うことができる。さらに、帯電を安定化させるための平板電極電圧を自動で設定することができるため、帯電量が異なる種々の試料においても、最適な条件を設定することができ、試料の違いやオペレーターの技量によらず絶縁物試料の測長が可能となる。

本発明の他の目的、特徴及び利点は添付図面に関する以下の本発明の実施例の

記載から明らかになるであろう。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0014] 本発明の代表的な実施形態について、まず図1を用いて説明する。本実施例はリターディング法を用いた基本的な走査型電子顕微鏡(SEM)の構成であり、本実施例の構成要素1から12は個々の全体または一部が真空容器中に納められている。電子源1は針状に加工されたタングステンに酸化ジルコニウムを塗布、拡散させて該電子源先端の電子放出部の仕事関数を減少させたものであり、いわゆるショットキー電子源である。電子線の初期加速電圧 $-3\text{kV}$ を該電子源に印加する電子銃加速電源18上にフローティングされた定電流電源15にて適切な温度に加熱して、該電子源から電子の電界放出を行う引き出し電圧電源17が接続された引き出し電極3にて電子放出を行うことによって、放出される電子線のエネルギー分布幅が狭く、放出電流量が安定した電子線を得ることができる。また、放出電流量は該電子源近傍に設置された抑制電極2に初則加速電源18に対して負の電圧を印加することのできる電源16を接続することで増減させることができる。

[0015] 磁場レンズ4および磁場レンズ5は電子線を収束させる作用を持ち、本実施形態に好適な光学条件に設定される。電子線は偏向コイル8にて試料11上を所望のFOV(Field Of View)で走査が可能であり、該試料11から発生した二次電子は、対物レンズ9の磁場や制御電極10および金属製の試料台12に制御電極電源20およびリターディング電源21をもって印加される負の電圧の作用で電子源1方向に加速され、最終的に二次電子検出器13にて捕獲されて電氣的に増幅された後、画像処理部18でA/D変換され、偏向コイルでの電子線スキャン信号に同期したラスタ像を画像出力端末14に表示することができる。本実施例では二次電子検出器13はシンチレータとライトガイド、二次電子増倍管から構成される、Everhart Thornley型検出器を用いたが、半導体検出器やマイクロチャンネルプレートを用いても良い。

[0016] また、本実施例では該二次電子検出器13の前段に試料11から加速、上昇してきた二次電子や反射電子を再度低速の二次電子に変換する変換電極6を備え、かつ一次電子線の軌道に影響を与えず、該低速の二次電子のみを該二次電子検出器13方向に偏向することのできるEXBフィルター7を具備することで二次電子捕集効率

の商い検出系を構成している。

- [0017] EXBフィルター7内にはメッシュ状の金属製電極を一枚以上使用して、これらに試料台12にリターディング電源21で印加する電圧と同等レベルの電圧を印加することで該試料11から発生して加速する二次電子のエネルギーに対する電位障壁を発生させることのできる電位阻止型のエネルギーフィルタを具備し(図示せず)、反射電子や二次電子の分別はもちろんのこと、該二次電子検出器13を複数設けることで反射電子と二次電子を同時に取得して、SEM像に任意の割合で加算して表示することも可能である。

さらに、該エネルギーフィルタの阻止電位を可変すれば、試料11上に一次電子線を照射する際に発生した帯電による該試料11の表面電位も測定が可能であるから、光学系の動作条件と表面電位の上方とを用いて光学倍率の変化が計算できるため、この結果から偏向コイル8の偏向電流の再設定を実施すれば、試料表面の帯電によらず正確な倍率設定が可能となる。

- [0018] 以上が本実施例のSEMとしての基本的な構成である。本発明の目的は試料11が部分的に絶縁物が表面に露出した試料や絶縁物を基板とする試料、たとえばレチクル(マス列や液晶基板を試料とする場合に帯電の影響を受けずに安定した測長を行うことであり、そのための構成について以下に説明する。

- [0019] 試料に電子が1個入射した際に発生する二次電子の個数を二次電子放出率 $\delta$ と定義すると、 $\text{SiO}_2$ の場合には図2のように一次電子線の入射エネルギーによって二次電子放出率が変化する。 $\delta$ が1よりも大きければ、試料表面は正に帯電し、 $\delta$ が1よりも小体ければ試料表面は負に帯電することが知られている。

- [0020] 本実施例では通常の低加速SEMで用いられている1keV前後のエネルギーを用いて、試料から発生する二次電子の発生効率が1以上となるように、試料に照射する電子線のエネルギーを設定する。50eV付近の入射エネルギーを選んでも良いが、二次電子放出率の入射エネルギーに対する変化が大きく制御し難く、分解能の点からも不利である。さらに、 $\delta$ が1付近である入射エネルギーを選んでおけば、後述するように帯電量の安定化や制御電極10に印加する電圧設定の自動化の点でも有利である。

- [0021] また、平板電極とした制御電極10と試料台11の間に絶縁物試料、特にガラスを基板とするような試料を配置すると、該制御電極10と該試料台11の間には真空とガラスが存在することになり、該制御電極10に設けた一次電子線が通過することができる孔が、該制御電極10の電子源1方向に位置する部材によってなる電位が該孔から試料近傍にまで染み込芭程度に大きいと、真空よりも誘電率の大きい試料中に電位が進入することになるので、試料表面上で等電位面の湾曲が起こり、試料面内で電位勾配が生じることになる。
- [0022] 加えて、絶縁物試料上に帯電電荷が誘起されると、この電位勾配によって電荷の移動が起こるため、試料表面上での電位勾配がさらに変化して、一次電子線のビームドリフトが生じると考えられる。
- [0023] 本実施例では制御電極電源20を用いて独立に電圧を印加することができ、一次電子線が通過することができ、かつ対物レンズ磁極孔の中心軸に一致した軸上に配置される孔を具備した平板電極である制御電極10を試料11に対向して配置し、該試料11を積載する試料台12はリターディング電源21で独立に電圧を印加することができ、該試料11に対向する面は平坦化されて凹凸の無い構造とすることで、該試料11を該制御電極10と該試料台12とでサンドイッチしている。
- [0024] この構成によって、制御電極10と試料11の間の電界は平行電界となり、試料表面を等電位面に一致させることができるため、試料表面上での等電位面の湾曲をなくすことができ、かつ該等電位面は該制御電極10および試料台12に印加する電圧で任意に設定することが可能となる。
- [0025] よって、絶縁物試料、特にガラスを基板とするような試料では、その既知の誘電率を使って試料表面は制御電極10と試料台12に印加される電圧と各寸法とで電界シミュレーションを用いて正確に計算できる電位に設定される。
- [0026] 上記した等電位面の形成について図3Aおよび図3Bを用いてさらに詳しく述べる。
- SEMの高分解能化手法の一つとして、リターディング法以外に磁路全体もしくは絶縁された磁路の一部に正の高電圧を印加して、レンズ界内を高速で電子線を通過させることで色収差を低減するブースティング法がある。図3Aでは対物レンズ9にブースティング電源25で5kVの電圧を印加し、試料台12にはリターディング電圧ガー2k

V印加され、制御電極22は-1.8kVに設定している。

- [0027] 図3Aには制御電極22が図示してあるが、該制御電極22を具備していない場合や、該制御電極22のように中心に設けた一次電子線の通過する孔が大きい場合にほ、ブースティング電圧が該孔から進入して、等電位線分布23を形成するため、絶縁物試料11の表面で電位勾配を生じることが分かる。
- [0028] 一方、図3Bは、対物レンズ9のブースティング電圧を低下させ、かつ制御電極26のように制御電極の孔径を小さくしたものであるが、等電位線分布27から分かるように、平坦化されて試料11の表面は等電位面に一致するようにできる。この効果はブースティング電圧を高く設定したままでも、さらに該制御電極26の孔径を小さくしたり、該制御電極26と該試料11間の距離を大きくすることでも得られるが、一次電子線の偏向歪みが大きくなったり、分解能が著しく低下したりする。
- [0029] また、本発明を効果的に行う重要な要素として試料台12の構造が挙げられる。図4Aはレチクルを試料としたときの制御電極10を含む金属性試料台28の構造の断面図であり、絶縁物試料11が該試料台28に含有され、該試料11の上面と該試料台28の上面が同一面上にある形状とした場合である。支持台24はレチクルを傷つけないために、直接該試料台11に接触させないためのスペーサであり、異物を発生しない材質で作られている。該支持台24の高さは、後述する制御電極10の電圧変化時に該試料11上に作用する電圧の変化割合、つまり感度に影響するため、装置間でのばらつきがあってはならない。
- [0030] 図4Bは図4Aの一部分であり、試料11の端部を観察する場合の等電位線分布を示したものであり、一次電子線29は試料端部から5mm内側に入った場所を照射する場合である。なお、条件は本発明を効果的に行うのに好適なリターディング電圧と制御電極電圧の組み合わせと該制御電極配置による例であり、リターディング電圧は-2100V、制御電極電圧は-2000V、該制御電極10と試料11間距離は1mm、該制御電極の孔径は1mm、該支持台24の高さは0.5mmである。
- [0031] 等電位線分布は等電位線群30のようになり、寸法31が試料の厚みと同程度であるとき、該制御電極10と該試料台28の間に形成される電位密度と該制御電極10と該試料11で形成される電位密度に大きな開きが生じるため、試料端部の電子線照射



箇所では大きな電位勾配を生じてしまう。

[0032] 一方、図5Aは試料台の別形態の断面図である。図5Bに示したように寸法31を寸法33のように小さくすると、等電位線分布は等電位線群34のようになり、試料11端部での該試料11表面の電位勾配をなくすことができ、帯電電荷の移動を最小にすることができる。なお、寸法33は図示されたような試料台32の窪みの深さだけではなく、該試料台32上で該試料11の周辺に配置される構造物の高さにも同様なことが適応できる。発明に好適な電圧条件や制御電極10の位置や支持台24の高さなどに鑑み、寸法33は試料厚さの $1/2$ 以下とすることが望ましい。

[0033] 以上に述べたように、構造的に発生する電位分布の考察により、絶縁物試料表面の電位勾配の低減が可能で、ビームドリフトの要因の一つをなくすることができる。しかし、実際には絶縁物試料に電子線を照射したときに発生する帯電電荷が蓄積して引き起こす試料表面の電位変動について対策しなければ、問題の解決には至らない。

[0034] 以下に帯電電荷の制御方法の実施例について記述する。

本発明によれば、一次電子線の照射によって絶縁物試料11表面に帯電が誘起された場合にも、誘起された帯電が過剰に蓄積しないように、試料の表面電位に対して数Vから数十Vの正の電圧を制御電極10に印加してあり、たとえ電荷の蓄積が進行したとしても、該制御電極10と該試料11表面の電位差以下の帯電量で進行が止まるので、帯電の自己緩和作用で十分電荷の低減が可能な帯電量に初期の電荷の蓄積を制限することができる。本実施例で試料を石英ウェーハとしたときの好適な制御電極10の電圧は試料表面電位に対して50V程度である。

[0035] さらに、一次電子線の照射により試料上の帯電は経時的に自己緩和作用で一定の帯電量に落ち着こうとするが、帯電領域から発生した二次電子が帯電領域のみに均一に戻るわけではないため、帯電量は未だ十分小刮」とはいえず、領域内での電荷の分布も不均一な状態である。ただし、この時点で既に設定した該制御電極10の電圧において、発明が解決しようとする課題でも述べた帯電領域直上の電位障壁は二次電子が透過できるほどには小さくなっている。

[0036] これらを図示すると図6A、図6B、図7Aおよび図7Bのようになる。一次電子線の照射領域は約 $70\mu\text{m}$ 角の場合である。図6Aは制御電極10の初期電圧を $-161\text{OV}$ 、

リターディング電圧を $-1700\text{V}$ としたときの等電位線分布である。このときの一次電子線の入射エネルギーは約 $1\text{keV}$ となり、 $\delta$ は1よりわずかに大きい。該一次電子線が絶縁物試料11に照射されたとき、一次電子線の照射領域にほぼ一致した帯電領域42には速やかに数Vから数十Vの正の電荷が帯電し、等電位線分布は等電位線群41のようになる。図6Bは図6Aの帯電領域42を局所的に拡大したものであり、等電位線間隔は1Vである。該帯電領域42の直上には帯電電位に対して負の電位障壁44が形成されるため、二次電子のもつエネルギー分布で最も多い $2\text{eV}$ 程度の二次電子は電位障壁44で追い返されて該帯電領域42近辺に再入射することで正の帯電電荷を打ち消す自己緩和作用が生じる。

[0037] 図6Aおよび図6Bの作用によって帯電量が減少した状態が図7Aおよび図7Bである。帯電量が減少することで等電位線分布は図7Aの等電位線群45のように変化し、帯電領域46を局所的に見れば図7Bのように等電位線群44は等電位線群48のように変化し、該帯電領域46直上の電位障壁が緩和され、 $2\text{eV}$ 程度の低エネルギーの二次電子47も電子源1方向に加速されて二次電子検出器13で検出することができるようになる。この現象は該試料11に一次電子線照射直後にSEM像の明るさが一瞬減少し、再度明るくなることも一致する。

[0038] また、通常この自己緩和作用による帯電部分の電位安定化は照射電流量にもよるが、数十秒から数分間の長時間にわたる電子線の照射が必要である。しかし、一次電子線を照射しながら該制御電極10に印加する電圧を初則値に対して数Vから数十Vの負の電圧に変化させることで、不均一なままの帯電領域に意図的に電位障壁を発生させて二次電子を帯電領域に戻し、帯電量を倍率誤差が問題とならない程度に低減させて安定化させることができ、前述したように該制御電極10と試料台12との効果とあいまって広範囲にわたって電位勾配が無くなり、さらに該電位勾配によって発生する電荷の不安定な移動がなくなるため、電位の安定した領域を絶縁物試料表面に作ることができる。この結果、二次電子の阻害要因もなく、S/NのよいSEM像が得られ、一次電子線のビームドリフトを排除することができる。

[0039] ただし、該制御電極10の電圧変化は連続的もしくは段階的に行うことが重要である。これは該電圧の変化によって電位障壁が徐々に形成される過程で、試料に戻るこ

とのできるエネルギーをもつ二次電子の量と、これらの二次電子が試料に戻る位置も徐々に変化するため、帯電量も連続的に緩和される。よって、該電圧の変化を瞬時に切替えたときのように急峻な電荷の濃度勾配や電位勾配が発生しないため、電荷の拡散を最小限に抑制できるので帯電の安定化を速やかに行うことが可能となる。

[0040] 上記の過程は図8Aおよび図8Bおよび図8Aおよび図8Bのように表すことが可能である。図7Aおよび図7Bの状態では依然帯電量が多いため、電荷の濃度勾配による拡散や測長倍率に狂いが生じる。該制御電極10の電圧を初値から-20V程度変化させることで図8Aの帯電領域49の直上に図8Bのように約1Vの電位障壁52を再形成させることができ、1eV程度以下のエネルギーをもつ二次電子は帯電領域49に回帰するため、帯電電荷はさらに減少する。

図8Aおよび図8Bの段階での自己緩和作用によって図8Aの帯電領域54の電荷は減少して等電位線分布も試料近傍で等電位線群53のように平坦化される。図8Bに示したように、帯電領域54を局所的に見ても等電位線群56では低エネルギーの二次電子55に対しても電位障壁は存在しないため、S/N良く二次電子の検出が可能となる。さらに、一次電子線照射領域の電位勾配もほとんどないため、帯電電荷の大きな移動はなく、電荷量も少ないため一次電子線のビームドリフトは発生しなくなる。

[0041] 制御電極電圧10を変化させたときの試料11の帯電量との関係を模式的に表すと図10のようになる。図10のAの領域は試料11に一次電子線を照射して間もない時間帯であり、帯電量はグラフ38のように速やかに正帯電が進行する。該制御電極10の電圧は初期値35のままであり、SEM像は暗くなる。

[0042] さらに時間が経ったBの領域では自己緩和作用によって帯電量はグラフ39のごとく減少する。該制御電極10の電圧は初期値35のままであり、SEM像は明るくなる。しかし、該制御電極10の電圧を初期値35に保持していても、帯電量はグラフ39のように減少するため、帯電量が安定するまでには長時間を要し、ビームドリフトも納まらない。

[0043] Cの領域で該制御電極10の電圧をグラフ36のように連続的に、もしくはグラフ37のように数回に分けて段階的に変化させると、帯電量はグラフ40のように速やかに減少し

て短時間で安定させることができる。このとき、SEM像は若干暗くなった後、明るくなる。

[0044] 図1 0に示したように制御電極1 0の電圧を制御すれば、SEM像の明るさ変化もしくは二次電子電流量を検出することによって、自動的に該制御電極1 0の電圧変化を終了することができると考えられる。また、試料の種類や形状によって帯電量が異なり、二次電子の検出量が減少することがあるので、該制御電極1 0に印加する電圧の初期値は変わり得る。よって、同様の手法を用いて該制御電極1 0の電圧を広範囲に掃引して最適な初期値も自動的に決定することが可能なのは明らかである。

[0045] SEM像の明るさ変化もしくは二次電子電流量の検出は、具体的には一次電子線を試料に照射しながら該制御電極1 0の電圧を変化させて、一定期間毎に取り込んだSEM像のデジタル的な階調とそれに属する画素数の関係を求めるのが簡便である。階調と画素数があらかじめ決められた閾値以上もしくは以下となったら該制御電極1 0の電圧変化を終了することもできし、そのときの電極電圧を該制御電極1 0の電圧の初期値として用いることもできる。

[0046] さて、ビームドリフトは先に説明したように、一次電子線の軌道が試料表面近傍の電位勾配によって偏向作用を受けるものであるが、この力場は該一次電子線の照射領域とその周辺部との電位差によって形成されるので、該力場を形成する原因となる電位勾配が測長を行うような高倍率での荷電粒子の照射領域(例えば数 $\mu$ m角)よりも十分広い範囲で均一化されていることが重要である。

[0047] よって、前述したように該平板電極に印加する電圧を初則値から数Vから数十Vの負の電圧に変化させて、帯電量を低減させると同時に電位勾配をなくする手段を用いる場合には、あらかじめ低倍率に設定して該手段を実施した後、高倍率として測長することが効果的である。

[0048] 以上のような[発明が解決しようとする課題]に記述した第一と第二の課題に対する解決手段をとると、該制御電極1 0に印加する電圧が対物レンズと試料間のレンズ界内に一次荷電粒子線に対して減速電位を生じせしめることになる。レンズ界内を通過する一次荷電粒子線のエネルギーは大きいほどレンズの色収差は低減できるため、該制御電極1 0はなるべく試料面に近づけて配置することが重要となる。

[0049] しかし、該制御電極10には一次電子線の通過孔を設けているため、前述したように、該孔からの電位の進入によって試料面上で電位勾配を生じさせる可能性がある。よって、該制御電極10と該試料11との距離は任意に近づけることができない。この電位の進入の程度は、典型的には該孔の半径程度と考えることができ、かつ電界シミュレーションによれば該孔の直径Dと該平板電極と該試料との距離Lの関係が $D/L \geq 1.5$ であれば、試料表面の電位勾配も十分低減できる。よって、装置の性能を満たすようにレンズ収差を低減することのできるLに対して該孔の直径は上記関係も満たすDとすることが、第三の課題を解決する手段である。

上記記載は実施例についてなされたが、本発明はそれに限らず、本発明の精神と添付の請求の範囲の範囲内で種々の変更および修正をすることができることは当業者に明らかである。

#### 図面の簡単な説明

- [0050] [図1]本発明の実施形態の全体図。  
 [図2]二次電子放出率と入射エネルギーの関係。  
 [図3A]本発明の効果を説明する制御電極の形状と等電位線分布の例。  
 [図3B]本発明の効果を説明する制御電極の形状と等電位線分布の例。  
 [図4A]制御電極を含む試料台と試料の断面図の例。  
 [図4B]試料端部での等電位線分布の例。  
 [図5A]制御電極を含む試料台と試料の断面図の例。  
 [図5B]試料端部での等電位線分布の例。  
 [図6A]試料上が帯電したときの初期的な状態での等電位線分布。  
 [図6B]帯電部分の局所的な電位障壁と二次電子が試料に戻る様子の模式図。  
 [図7A]図6Aおよび図6Bの過程の後、試料上の帯電が減少した状態での等電位線分布。  
 [図7B]帯電部分の局所的な電位障壁が減少して試料に戻る二次電子量が減少する様子の模式図。  
 [図8A]制御電極の電圧を初期値から負の方向に変化させて帯電領域に電位障壁が再形成されたときの等電位線分布。

[図8B]帯電部分の局所的な電位障壁と二次電子が試料に戻る様子の模式図。

[図8A]図8Aおよび図8Bの過程の後、試料上の帯電が減少した状態での等電位線分布。

[図9B]帯電部分の局所的な電位障壁が消滅して試料に戻る二次電子量がなくなる様子の模式図。

[図10]制御電極の電圧制御方法と電圧変化に対応した試料表面上の帯電量の変化との関係。

#### 符号の説明

- [0051]
- 1 電子源
  - 2 抑制電極
  - 3 引き出し電極
  - 4 磁場レンズ
  - 5 磁場レンズ
  - 6 変換電極
  - 7 EXBフィルター
  - 8 偏向コイル
  - 9 対物レンズ
  - 10 制御電極
  - 11 試料
  - 12 試料台
  - 13 二次電子検出器
  - 14 画像出力端末
  - 15 定電流電源
  - 16 電源
  - 17 引き出し電圧電源
  - 18 電子銃加速電源
  - 19 画像処理部
  - 20 制御電極電源

- 21 リターディング電源
- 22 制御電極
- 23 等電位線分布
- 24 支持台
- 25 ブースティング電源
- 26 制御電極
- 27 等電位線群
- 28 試料台
- 29 一次電子線
- 30 等電位線群
- 31 寸法
- 32 試料台
- 33 寸法
- 34 等電位線群
- 35 制御電極電圧初期値
- 36 制御電極電圧制御のグラフ
- 37 制御電極電圧制御のグラフ
- 38 帯電量変化のグラフ
- 39 帯電量変化のグラフ
- 40 帯電量変化のグラフ
- 41 等電位線群
- 42 帯電領域
- 43 二次電子
- 44 電位障壁を表す等電位線
- 45 等電位線群
- 46 帯電領域
- 47 二次電子
- 48 等電位線群

- 49 帯電領域
- 50 等電位線群
- 51 二次電子
- 52 電位障壁を表す等電位線
- 53 等電位線群
- 54 帯電領域
- 55 二次電子
- 56 等電位線群



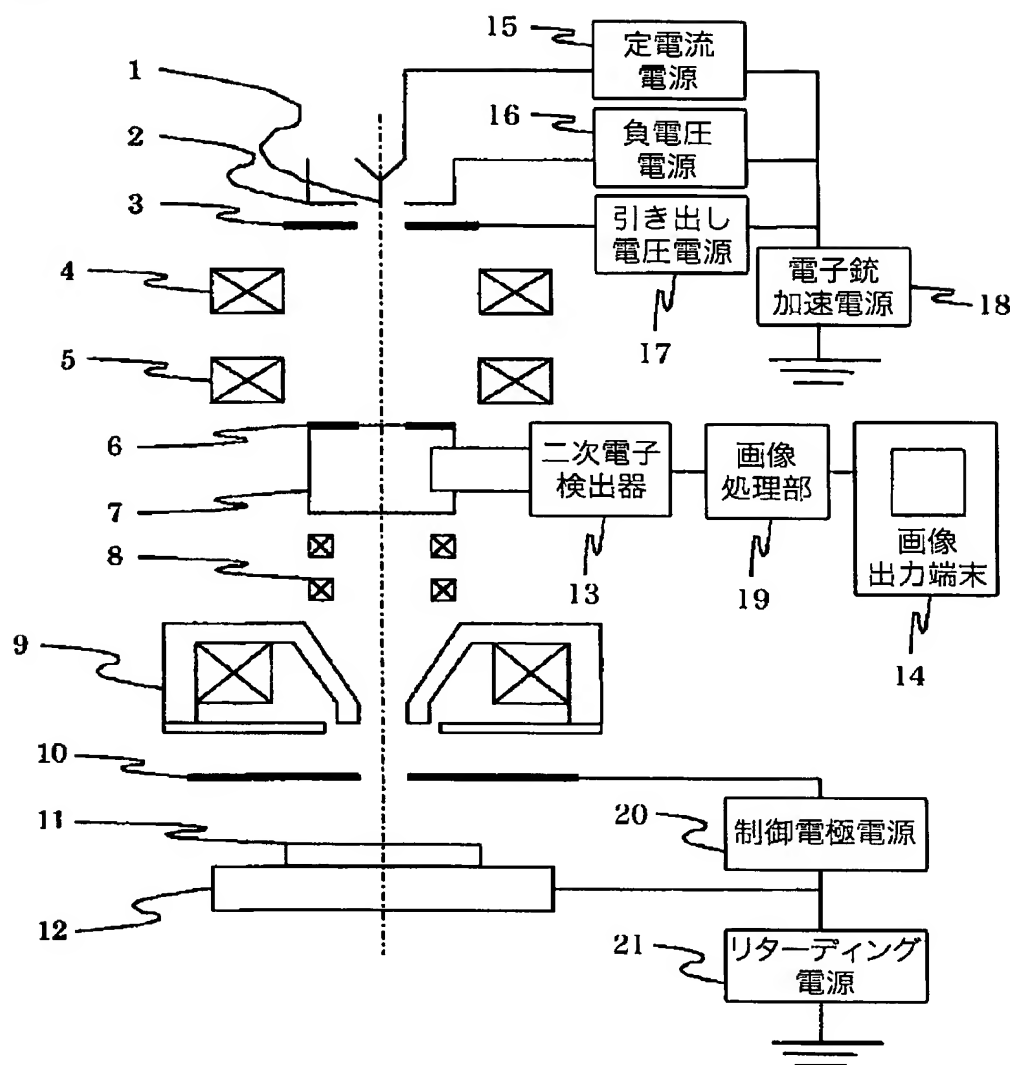
## 請求の範囲

- [1] 対物レンズの下方に独立して電圧を印加することの出来る電極と、該電極の下方に独立して電圧を印加することの出来る試料を積載するための試料台を配置し、該電極と該試料台に電圧を印加することで該電極と該試料台間に形成される平行電界が作る任意の等電位面と試料の表面が一致するように試料を該電極と該試料台の間に設置するように構成されたことを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [2] 請求項1記載の試料は絶縁物を基板とし、表面の一部もしくは全体に絶縁物が露出している試料であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [3] 請求項1記載の電極は電子線が通過する孔を有した平板電極であって、該平板電極に設けた孔は該電極よりも上方の電位が実質的に試料表面に作用しない大きさであり、該孔の直径をD、該電極と試料間の距離をLとしたときのDとLの関係は $D/L \geq 1.5$ であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [4] 請求項1記載の試料台は試料の面積よりも大きいことを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [5] 請求項1記載の試料台は試料の形状と相似形であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [6] 請求項1記載の試料台は試料の底面に対向する面である、該試料台の上面もしくは試料が積載される特定の面が、試料よりも大きな面積にわたり平坦化され、面内で凹凸構造を持たない試料台であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [7] 請求項1記載の試料台において、試料を積載するために試料台に設けた掘り込みの深さまたは障害物の高さは試料の厚さの $1/2$ 以下であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [8] 請求項1に記載の走査型電子顕微鏡において、ガラスや石英などの絶縁物を基板とする試料を観察する場合には、請求項1記載の電極に印加する電圧は試料台の電位に対して正の電圧を印加して、かつ試料表面の電位に対して数Vから数十V正となる電圧を印加する試料観察方法。
- [9] 請求項8記載の試料観察方法において、電子線を試料に照射している最中に電極に印加する電圧を、該電圧の初期値に対して負の方向に数Vから数十Vの範囲で連

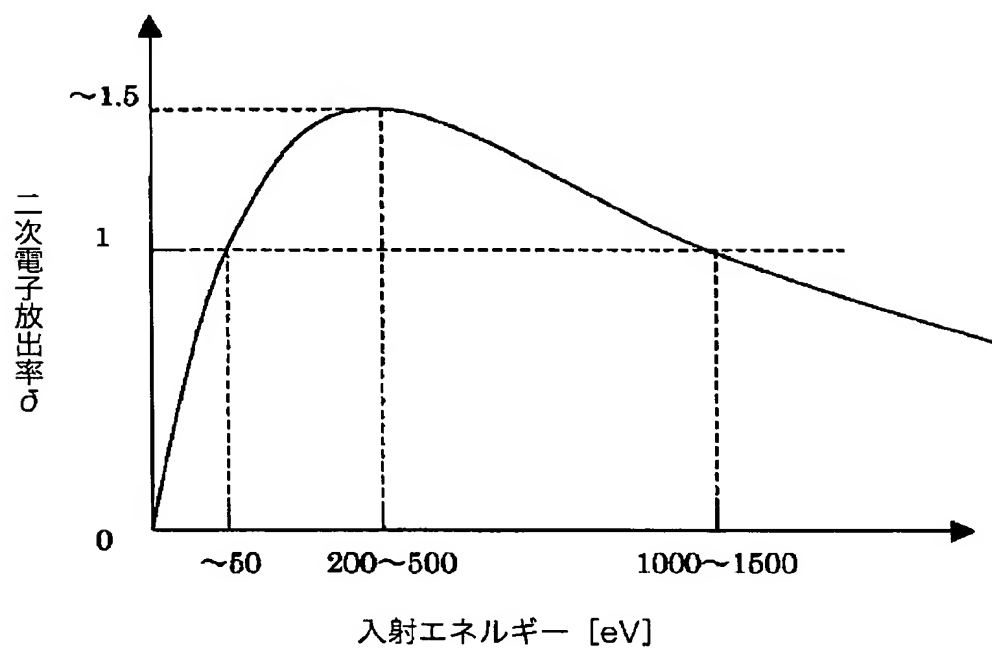
続的に、もしくは段階的に変化させることを特徴とする試料観察方法。

- [10] 請求項9記載の試料観察方法において、電極に印加する電圧の変化中の試料上での電子線の照射面積は、観察すべき面積に比して十分大きいことを特徴とする試料観察方法。
- [11] 請求項9に記載の試料観察方法において、自動的に電極に印加する電圧を変化させることができ、試料から発生する二次電子量もしくは反射電子量を計測する手段を具備し、該二次電子量もしくは反射電子量があらかじめ決められた閾値以上もしくは閾値以下となったら、該電極に印加する電圧の変化を自動的に終了して請求項9記載の電圧の初期値として設定することを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [12] 請求項9に記載の試料観察方法において、試料から発生する二次電子量もしくは反射電子量を計測する手段を具備し、該二次電子量もしくは反射電子量があらかじめ決められた閾値以上もしくは閾値以下となったら、該電極に印加する電圧の変化を自動的に終了することを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [13] 請求項11に記載の閾値は、二次電子信号もしくは反射電子信号を基に形成される画像の特定の輝度と該輝度にある画素数であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [14] 請求項12に記載の閾値は、二次電子信号もしくは反射電子信号を基に形成される画像の特定の輝度と該輝度にある画素数であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。
- [15] 請求項12記載の二次電子量もしくは反射電子量を計測する手段は、電界と磁界からなるウィーンフィルタ、もしくは二次電子または反射電子の持つエネルギーに対して障壁となるような電位を生じさせることのできる電極を備えた電位阻止型のエネルギーフィルタを具備した電子検出器であることを特徴とする走査型電子顕微鏡。

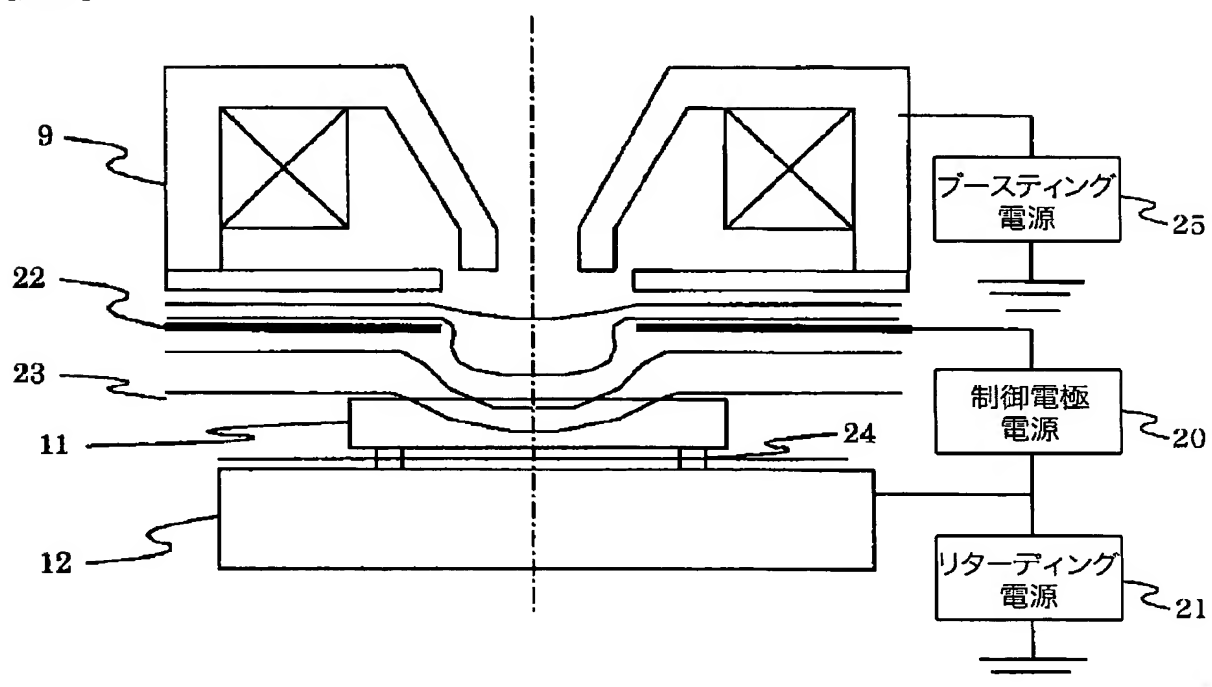
[図1]



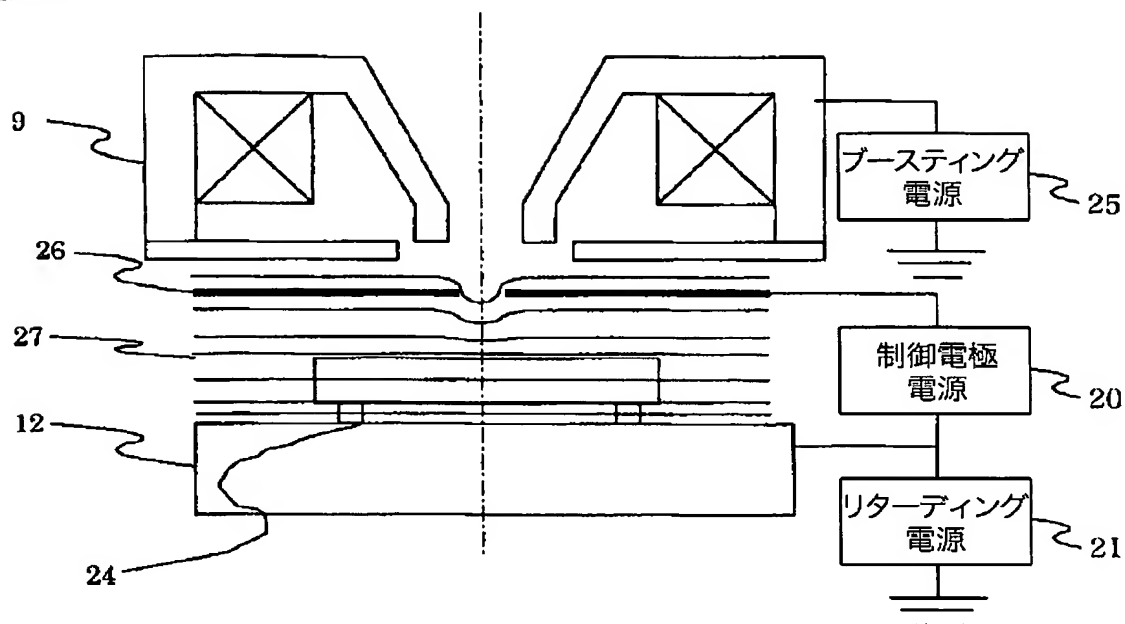
[図2]



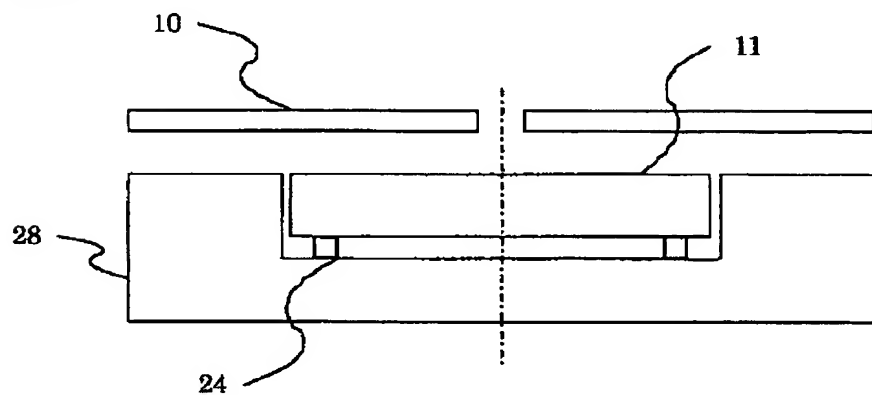
[図3A]



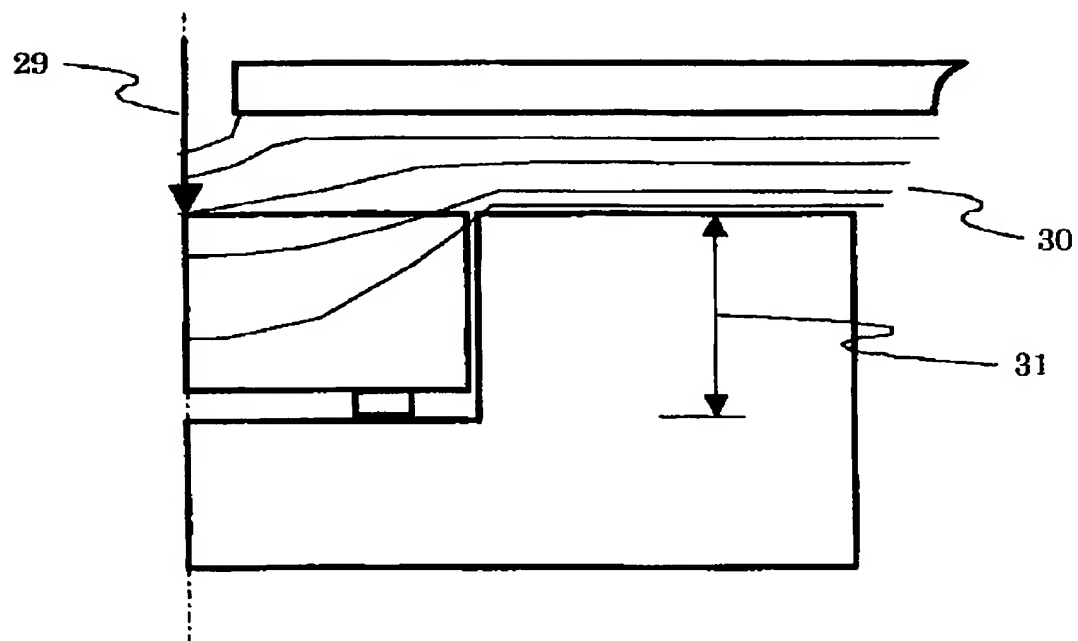
[図3B]



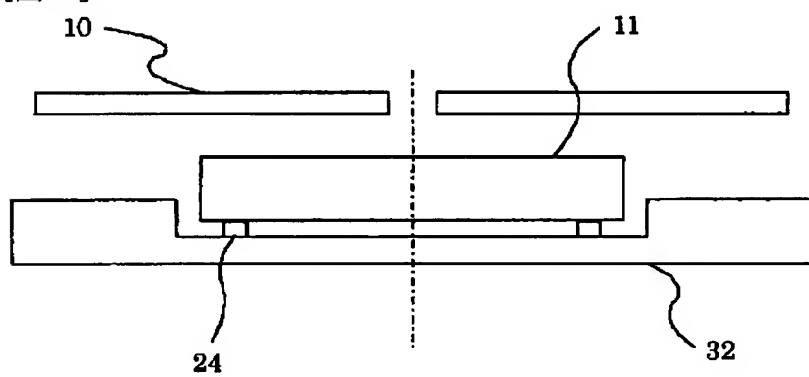
[図4A]



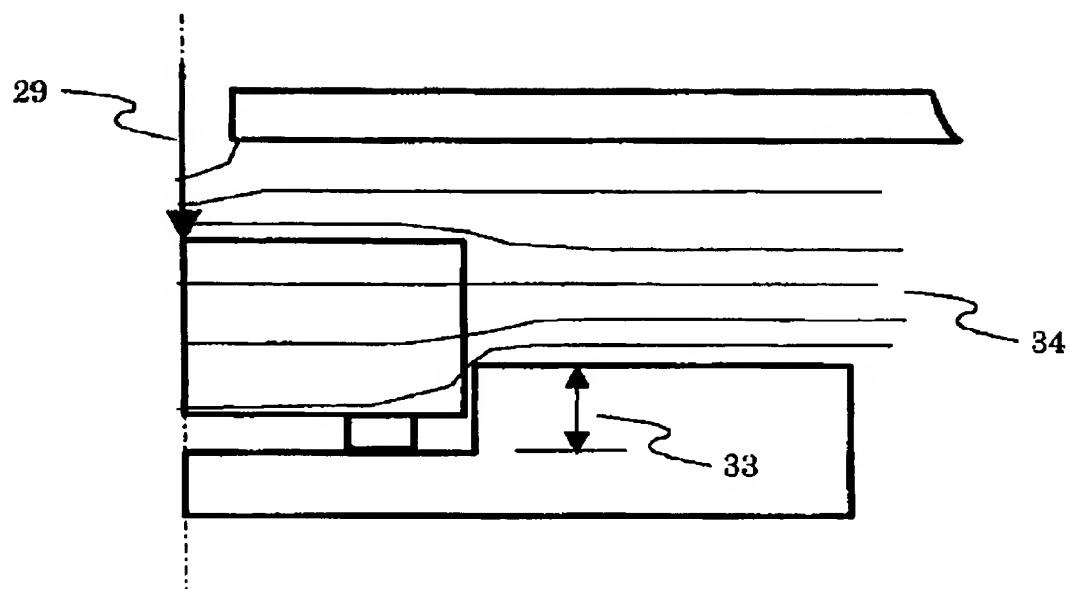
[図4B]



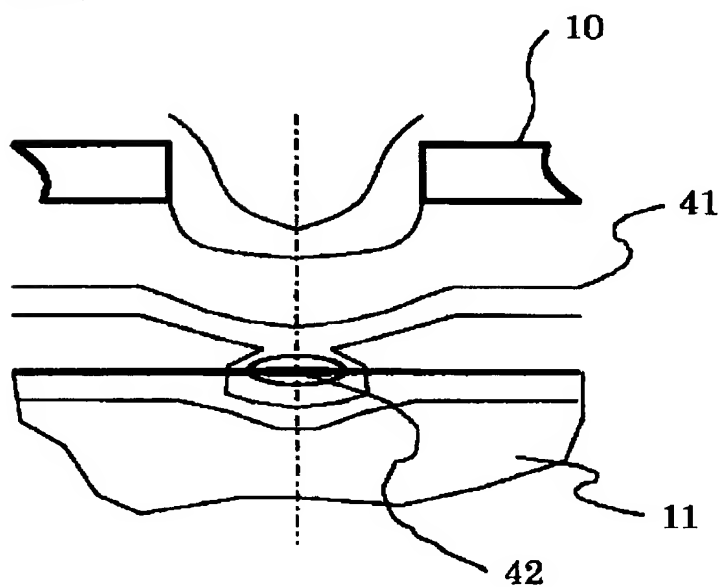
[図5A]



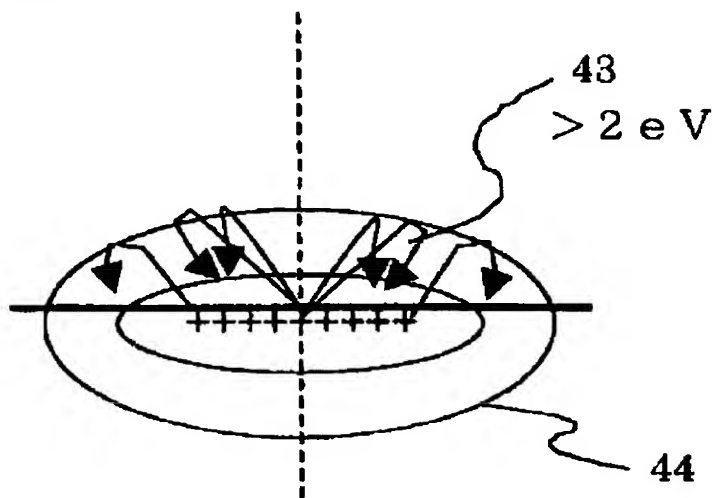
[図5B]



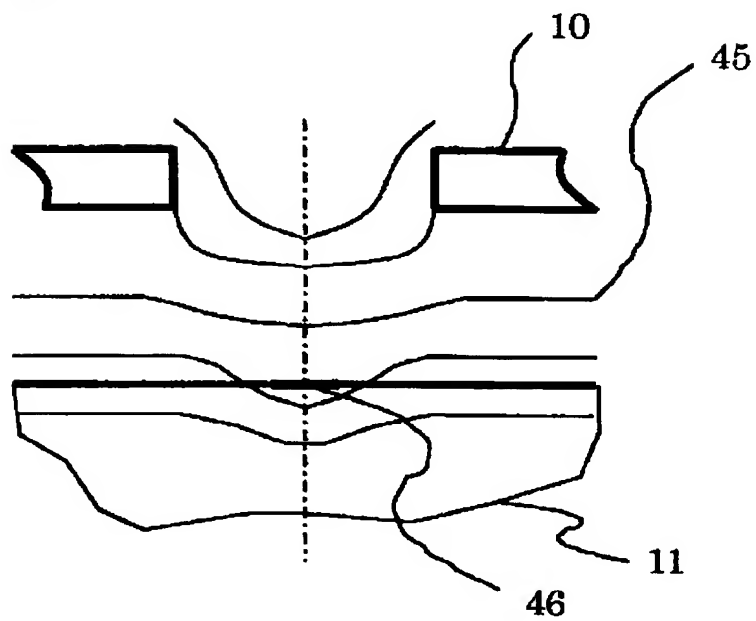
[図6A]



[図6B]

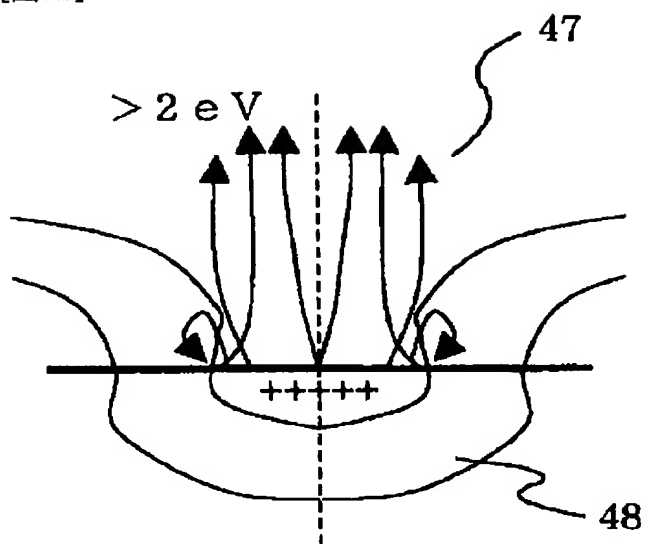


[図7A]

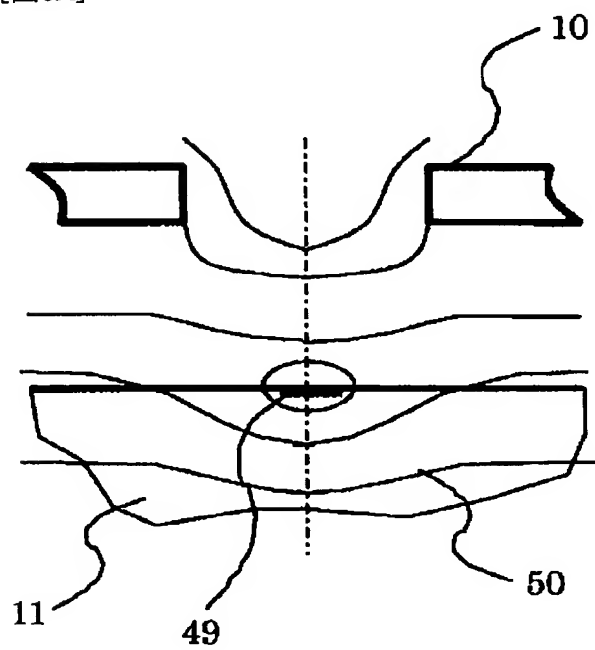




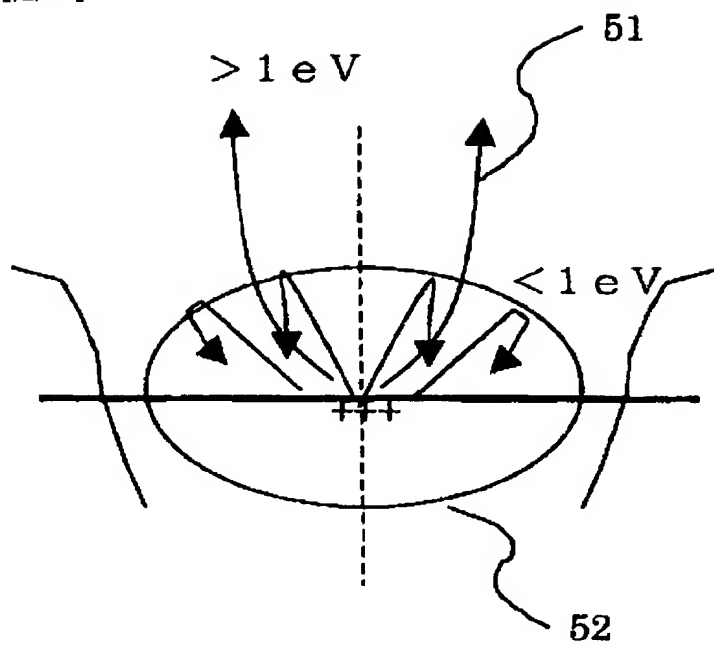
[図7B]



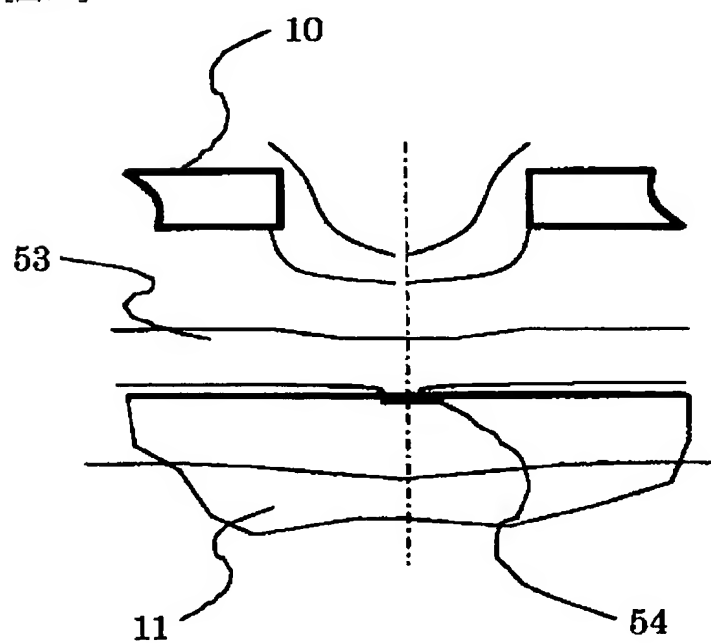
[図8A]



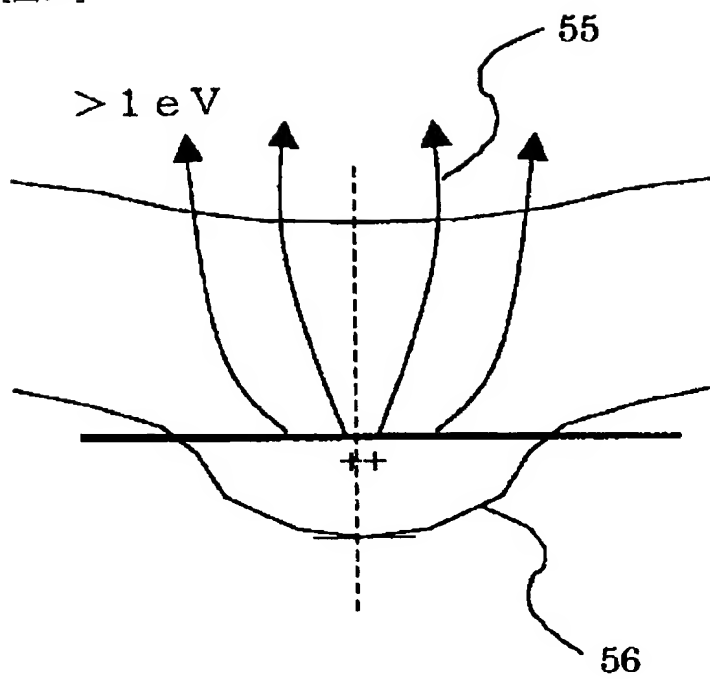
[図8B]



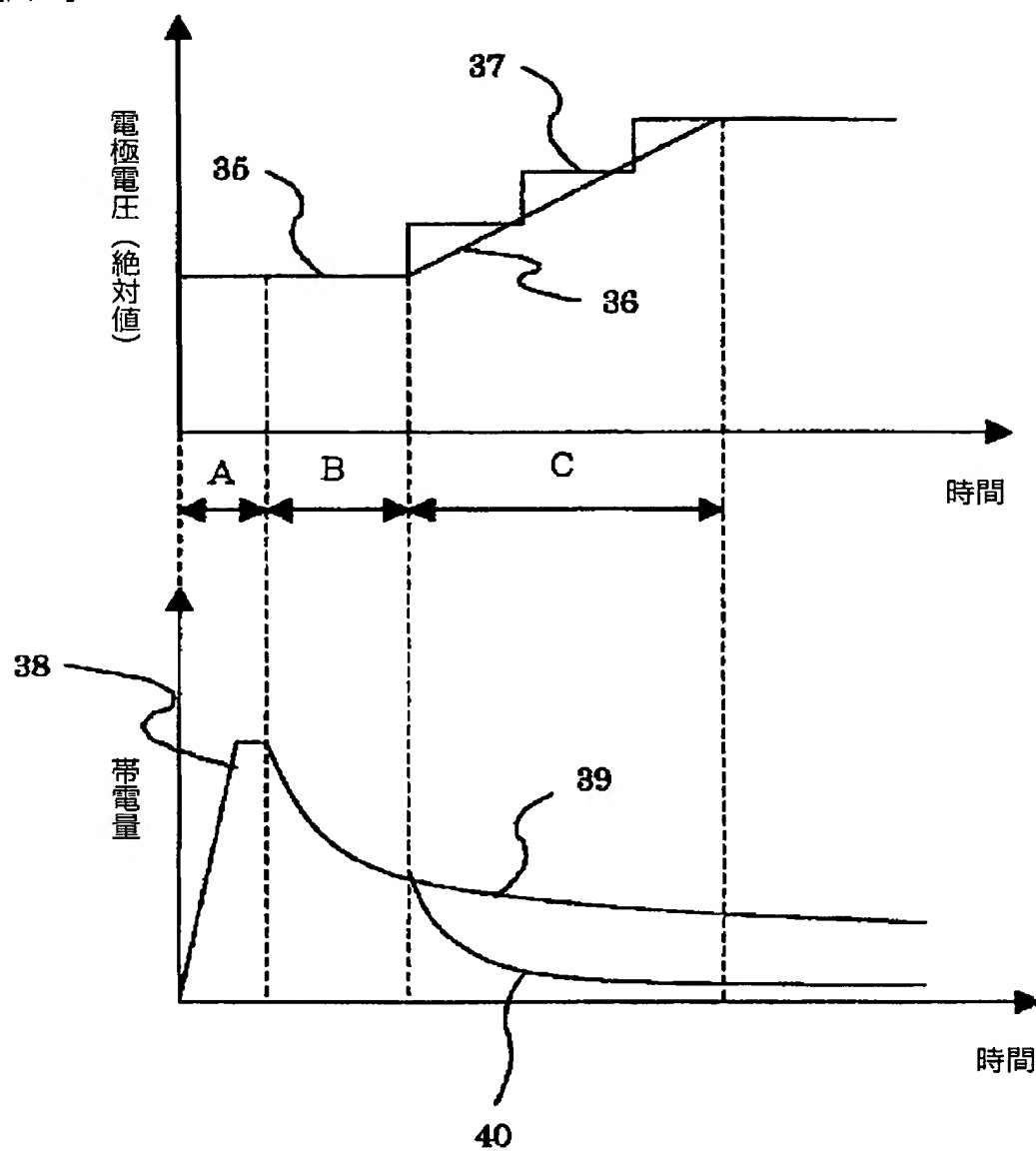
[図9A]



[図9B]



[図10]



International application No.

PCT/JP2 005/0146 77

### A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**H01J3 7/20** (2006.01), **H01J37/28** (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

### B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

**H01**と**37/20** (2006.01), **H01**と**37/28** (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Kbho	1922-1996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Kbho	1996-2005	
Kokai	Jitsuyo	Shinan	Kbho	1971-2005	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Kbho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-171791 A (Hitachi, Ltd.), 30 June, 1997 (30.06.97), Par. Nos. [0041] to [0043]; Fig. 8 S US 5872358 A & EP 769799 A	1-6, 8
Y	JP 2001-52642 A (Toshiba Corp.), 23 February, 2001 (23.02.01), Par. No. [0006] ; Fig. 9 (Family: none)	1-6, 8
Y	JP 2000-277049 A (JEOL Ltd.) , 06 October, 2000 (06.10.00), Par. No. [0013]; Figs. 3, 4 (Family: none)	3

☒ I Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ Scc patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

**"Y"** document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

'&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 Novembe τ, 2005 (14 .11 .05)

Date of mailing of the international search report	06 December , 2005 (06.12.05)
--	-------------------------------

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer
--------------------

Facsimile No.

Telephone No. \_\_\_\_\_

383

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/JP2 005/014 677

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-320505 A (Hitachi, Ltd.), 12 December, 1997 (12.12.97), Par. No. [[0031] & US 5986263 A	1, 2, 4-6, 8
Y	JP 62-110245 A (President of Osaka University), 21 May, 1987 (21.05.87), Fig. 2 (Family: none)	1, 2, 4-6, 8
A	JP 9-283072 A (Hitachi, Ltd.), 31 October, 1997 (31.10.97), Fig. 7 (Family: none)	3
A	JP 1-229977 A (Fujitsu Ltd.), 13 September, 1989 (13.09.89), Full text, all drawings (Family: none)	1, 2, 4-6, 8
A	JP 2000-40481 A (Hitachi, Ltd.), 08 February, 2000 (08.02.00), Full text, all drawings & US 6509564 B1	1-15
A	JP 2004-14485 A (Hitachi High-technologies Corp.), 15 January, 2004 (15.01.04), Full text, all drawings (Family: none)	1-15

1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 15  
 16  
 17  
 18  
 19  
 20  
 21  
 22  
 23  
 24  
 25  
 26  
 27  
 28  
 29  
 30  
 31  
 32  
 33  
 34  
 35  
 36  
 37  
 38  
 39  
 40  
 41  
 42  
 43  
 44  
 45  
 46  
 47  
 48  
 49  
 50  
 51  
 52  
 53  
 54  
 55  
 56  
 57  
 58  
 59  
 60  
 61  
 62  
 63  
 64  
 65  
 66  
 67  
 68  
 69  
 70  
 71  
 72  
 73  
 74  
 75  
 76  
 77  
 78  
 79  
 80  
 81  
 82  
 83  
 84  
 85  
 86  
 87  
 88  
 89  
 90  
 91  
 92  
 93  
 94  
 95  
 96  
 97  
 98  
 99  
 100

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2005/014677

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01J37/20 (2006.01), H01J37/28 (2006.01)																			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01J37/20 (2006.01), H01J37/28 (2006.01)																			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>192</td> <td>2-1996</td> <td>年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971</td> <td>- 2005</td> <td>年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2005</td> <td></td> <td>年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2005</td> <td></td> <td>年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	192	2-1996	年	日本国公開実用新案公報	1971	- 2005	年	日本国実用新案登録公報	1996-2005		年	日本国登録実用新案公報	1994-2005		年
日本国実用新案公報	192	2-1996	年																
日本国公開実用新案公報	1971	- 2005	年																
日本国実用新案登録公報	1996-2005		年																
日本国登録実用新案公報	1994-2005		年																
国際調査で使用する電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)																			
C. 関連すると認められる文献																			
引用文献の カテゴリー	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号																	
Y	JP 9-171791 A (株式会社日立製作所) 1997. 06. 30, [0041] - [0043], 図 8 & US 5872358 A & EP 769799 A	1-6, 8																	
Y	JP 2001-52642 A (株式会社東芝) 2001. 02. 23, [0006], 図 9 (ファミリーなし)	1-6, 8																	
Y	JP 2000-277049 A (日本電子株式会社) 2000. 10. 06, [0013], 図 3, 4 (ファミリーなし)	3																	
註 C欄の続きにも文献が列挙されている。 H パテントファミリーに関する別紙を参照。																			
* 引用文献のカテゴリー IA) 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの IEJ 国際出願日前の出願または特許であるか、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) ro) 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 rpj 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の目的役に公表された文献 ITJ 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものでなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの IXJ 特に関連のある文献であって、当議文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの IYJ 特に関連のある文献であって、当議文献と他の1以上の文献との、当業者によって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの I&J 同一パテントファミリー文献																			
国際調査を完了した日 14 11. 2005		国際調査報告の発送日 06 12. 2005																	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JJP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 堀部 修平 電話番号 03-3581-1101 内線 3226	2G 9215																

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 9-320505 A (株式会社 日立製作所) 1997.12.12, [0031] & US 5986263 A	1, 2, 4-6, 8
Y	JP 62-110245 A (大阪大学長) 1987.05.21, 第2図 (ファミリーなし)	1, 2, 4-6, 8
A	JP 9283072 A (株式会社 日立製作所) 1997.10.31, 図7 (ファミリーなし)	3
A	JP 1-229977 A (富士通株式会社) 1989.09.13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1, 2, 4-6, 8
A	JP 2000-40481 A (株式会社 日立製作所) 2000.02.08, 全文、全図 & US 6509564 B1	1-15
A	JP 2004-14485 A (株式会社 日立ハイテクノロジーX) 2004.01.15, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-15